

Bäume verursachen Verschiebungen bei kaltverlegten KMR-Leitungen

Von Dietmar Bartsch und Peter Buchner, Dinslaken sowie Andreas Schleyer und Georg Eigner, Leimen *)

Im Dezember 1991 wurden von der Fernwärmeversorgung Niederrhein in Dinslaken zwei kaltverlegte KMR-Leitungen in Betrieb genommen. Während in einer Strecke die an den Dehnschenkeln auftretenden Verschiebungen mit ausreichender Genauigkeit den berechneten Erwartungswerten entsprachen, kam es schon nach relativ kurzen Betriebszeiten in der zweiten Strecke zu einem starken Anwachsen der Verschiebungen. Dies war Anlass für umfangreiche Untersuchungen einschließlich aufwendiger Messprogramme. Jetzt wurde die Ursache für die extremen Abweichung zwischen Berechnung und Praxis gefunden.

Summary of the Report

Trees Cause Displacements to Cold-laid PJP-lines

The cold laying of PJP-lines has become widely used as standard procedure especially in the range of smaller and middle sized nominal widths. In one of three trial lines in Dinslaken however, a phenomenon occurred, that prevented the district heat supply Niederrhein for years from further continuing cold laying method: the geodetic displacements measured with extreme accuracy in one of the trial sections exceeded the values calculated in theory by threefold.

Only now the cause for this extreme deviation between calculation and practical experience was found. The intensive study of the reports and design

documents as well as comparative analyses of the lines led to the conclusion that the large displacements in this trial sections was most likely caused by the tree stock. When it is windy, dynamic loads are driven through the tree trunks into the roots underground. Theses of possible »relaxation« or »plastification« of the soil were refuted with these new examinations.

From the good alignment of calculations and measuring values from many other lines, however, the reverse conclusion can be drawn, that the friction force formulas available during the beginning of the nineties were quite accurate in respect to the absence of trees.

Die Kaltverlegung von KMR-Leitungen hat Eingang gefunden in das Arbeitsblatt FW401 im AGFW-Regelwerk sowie in den Entwurf zur Europäischen Norm (EN TC107/TC267/JWG1) »Design an Installation of Preinsulated Bonded Pipes for District Heating« und ist somit Stand der Technik. Dass sich die Kaltverlegung im Bereich kleiner und mittlerer Nennweiten als Standard-Verlegeverfahren durchgesetzt hat, ist unter anderem auf die Pilotverlegungen durch die Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH (FN) unter theoretischer Begleitung der GEF Ingenieure Ende der achtziger, Anfang der neunziger Jahre zurückzuführen.

Problemstellung

Im Dezember 1991 wurden von der Fernwärmeversorgung Niederrhein in Dinslaken zwei kaltverlegte KMR-Leitungen in Betrieb genommen, eine rd. 440 m lange Strecke in der Rotbachstraße und eine rd. 390 m lange Strecke in der Hauerstraße. Während in der Hauerstraße die an den Dehnschenkeln auftretenden Verschiebungen mit ausreichender Genauigkeit den berechneten Erwartungswerten entsprachen, kam es schon nach relativ kurzen Betriebszeiten in der Rotbachstraße zu einem starken Anwachsen der Verschiebungen, das Anlass zu umfangreichen Untersuchungen einschließlich aufwendiger Messprogramme gab. Eine befriedigende Erklärung für dieses Verschiebungsverhalten wurde aber nicht gefunden.

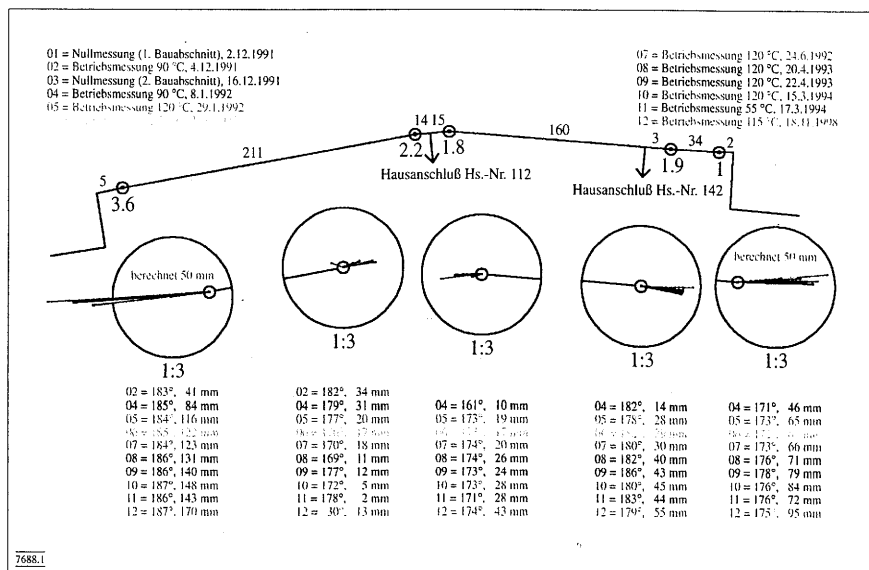


Figure 1. Displacement measurements in Rotbachstraße

Bild 1. Verschiebemessungen in der Rotbachstraße

*) D. Bartsch, Technischer Geschäftsführer, und P. Buchner, Betriebsleiter, Fernwärmeversorgung Niederrhein, Dinslaken sowie A. Schleyer, Geschäftsführer, und G. Eigner, Projektleiter, GEF Gesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen.

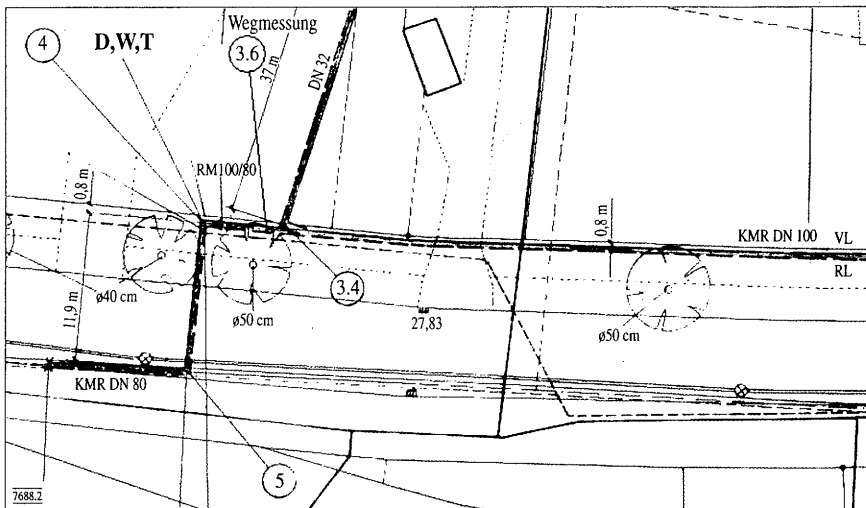


Figure 2. Alignment plan with tree stock

Bild 2. Trassenplan mit Baumbestand

Bei Wiederholungsmessungen (die letzte im November 1998) wurden in der Rotbachstraße Verschiebungen registriert, die am nordöstlichen Ende der Strecke das etwa Zweifache und am

Table 1. Comparison of conditions at Hauerstraße and Rotbachstraße

Tafel 1. Vergleich der Bedingungen von Hauerstraße und Rotbachstraße

	Hauerstraße	Rotbachstraße	Beigemessene Bedeutung
Systemhersteller	Pan-Isovit	Pan-Isovit	
Nenndruck	PN 16	PN 16	
Nennweite	DN 150	DN 100	keine
Vorlauftemp.max.	130 °C	130 °C	
Rücklauftemp.	50 °C	50 °C	
Gesamtlänge	rd. 390 m	rd. 440 m	keine
Überdeckung	0,9 bis 1,2 m	0,8 bis 1,2 m	
Trassenbogen	vorgefertigt	gezogen	unwesentlich
Inbetriebnahme	gesamt	nacheinander 2 Teilabschnitte	maßgebend für die Verschiebungen im Grenzbereich der Teilabschnitte
Baumbestand	keiner	starker	entscheidend
Begründungen für die beigemessene Bedeutung:			
Nennweite:	Die angewendeten Berechnungsgrundlagen gelten für alle Nennweiten, die bei der Verlegung von KMR üblich sind, und haben sich bei anderen Vorhaben allgemein bewährt.		
Gesamtlänge:	Sie übersteigt in beiden Fällen bei weitem das Doppelte des theoretischen Gleitbereichs, sodass in beiden Fällen im mittleren Streckenbereich ein ausgeprägter Haftbereich unter normalen Bedingungen zu erwarten ist.		
Trassenbogen:	Liegt bei Rotbachstraße in Systemmitte, also im theoretischen Haftbereich. Die sich aus dem Unterschied vorgefertigt/gezogen ergebenden unterschiedlichen Querbelastungen im Bereich des Trassenbogens haben dadurch keinen Einfluss auf die axiale Reibung im Gleitbereich.		
Inbetriebnahme:	Teilabschnitt 1 (südwestlicher Teil der Rotbachstraße) wurde zuerst in Betrieb genommen, dadurch Verschiebungen in späterer Systemmitte, die nach Anschluss und Inbetriebnahme des zweiten Teilabschnittes zurückgedrängt werden. Überwiegt der Reibungsabbau im Teilabschnitt 1, so bestehen für das Zurückdrängen noch günstigere Bedingungen.		
Baumbestand:	Dieser Unterschied ist der deutlichste Unterschied und wird als entscheidende Ursache für das eigenartige Verschiebungsverhalten der Versucherstrecke Rotbachstraße angesehen (Bild 4). (Weitere Erläuterungen dazu in Abschnitt 3).		

südwestlichen Ende das Dreifache der berechneten Werte betragen (Bild 1).

An der Wegmessstelle 3.6, die 5 m vom Bogen entfernt liegt, wurde bereits 1994 anstelle der berechneten 50 mm eine Längsverschiebung von 148 mm gemessen. Dies wurde zum Anlass genommen, die gemessenen Längsverschiebungen genauer zu hinterfragen. Dabei zeigte sich, dass die geodätischen Messungen objektiv richtig sind - von einer gerätebedingten Standardabweichung von rd. 2 mm abgesehen.

Die im Punkt 3.5 gemessene, extrem große Endverschiebung erklärt auch die hohen fiktiv linear elastischen Spannungen von rd. 2600 N/mm² im Bogen 4 (Bild 2). Um den Bogen 4 vor Überlastung zu schützen, wurde er freigelegt, dabei in Augenschein genommen und vom Bettungsdruck befreit. Dehnungspolster und PE-Ummantelung waren noch intakt, und so wurde er im entspannten Zustand wieder eingedert.

Zur Kontrolle wurde auch der Parallelabzweig im Punkt 3.4 freigelegt. Dabei zeigte sich im Parallelschenkel eine Schiefstellung, die nur durch die große Verschiebung der Hauptleitung erklärt werden kann. Das Dehnpolster der Abzweigleitung war im quer zur Hauptleitung verlaufenden Schenkel einseitig stark deformiert (Bild 3). Auch dies ist ein Beleg für die große Verschiebung der Hauptleitung. Trotz der Deformation war der Abzweig unbeschädigt und wurde im entspannten Zustand wieder ordnungsgemäß eingedert. Eine Überprüfung der Überdeckungshöhen, Proctorversuche und Analysen des Einbettungsmaterials ergaben keine Erklärungen für die großen Verschiebungen.

Da zwischenzeitlich die Berechnungsverfahren weiter verbessert wurden, so dass auch rechnerische Simulationen von Lastfallgeschichten (z. B. aufeinanderfolgende Temperaturänderungen bei gleichzeitig veränderten Widerstandsbedingungen) berechnet werden können, sollte jetzt noch einmal der Versuch unternommen werden, die Ursache dieser extrem großen Verschiebungen zu ermitteln.

Problemanalyse

Bei den betrachteten Systemen ist die axiale Reibung vor allem durch die Kaltverlegung ausschlaggebend für die Verschiebungen. Innendruck und Querpressung spielen hier eine untergeordnete Rolle und werden daher bei den weiteren Betrachtungen vernachlässigt.

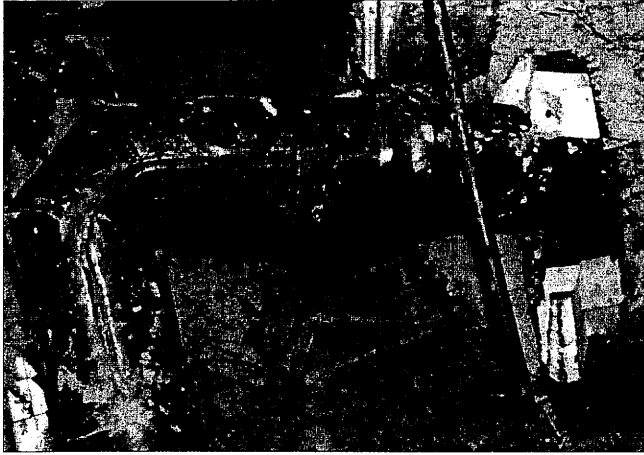


Figure 3. Distortion of the expansion cushion at a parallel branch 3.4, caused by the large longitudinal displacement of the main line

Bild 3. Dehnpolsterdeformation im Parallelabzweig 3.4 durch die große Längsverschiebung der Hauptleitung

Daher kann die massive Überschreitung der Berechnungswerte nur dadurch erklärt werden, dass bei dem System Rotbachstraße für die axiale Reibung Bedingungen herrschen, die nicht den sonst üblichen Bedingungen entsprechen. Ein Vielfaches der berechneten Verschiebungen ist nur zu erwarten, wenn die Reibung - aus welchen Gründen sei zunächst dahingestellt - entweder bei der Erwärmung von vornherein kleiner ist oder und im warmen Zustand selbst abgebaut wird. Entsprechend größer sind auch die Gleitbereichslängen.

Die gemessenen Werte in der Rotbachstraße (Bild 1) deuten eindeutig auf einen schleichenden Vorgang, also einen von der Betriebsdauer abhängigen Prozess. Daraus ist zu schließen, dass bei der eigentlichen Temperaturänderung die Reibung, wie bei anderen Systemen auch, zunächst wirksam wird, bei längerem Anhalten des Temperaturniveaus aber abgebaut wird. Dieser Reibungsabbau führt durch den Spannungszustand der Rohrleitung zu einem Weiterschieben und damit zu dem beobachteten zeitabhängigen Verschiebungsverlauf.

Die Größe der Verschiebungen im Bereich der Kompensationsstelle wird durch die höchste gefahrene Betriebstemperatur und die dabei vorhandenen Bedingungen für die Reibung bestimmt. Tritt dabei ein Weiterschieben durch Reibungsabbau ein, so wird dieses Weiterschieben auch durch nachfolgende Temperaturabsenkungen nicht mehr aus-

geglichen. Die mit den weiteren Temperaturwechseln verbundenen Verschiebungsänderungen erfolgen in dem erreichten höheren Verschiebungsbereich.

Baumbestand als Ursache großer Verschiebungen

In den Richtlinien für KMR-Verlegung gibt es bisher keine Hinweise auf einen Reibungsabbau bei Baumbestand in Trassennähe. Die Umstände in

der Rotbachstraße lassen aber nur noch den Schluss zu, dass der vorhandene Baumbestand in unmittelbarer Nähe der Trasse den Reibungsabbau an den KMR-Leitungen verursacht.

Es ist bekannt, dass bei Gehwegen und Straßendecken in Baumnähe immer wieder Verwerfungen auftreten. Diese sind sicherlich mit Veränderungen der Kornanordnung im Boden verbunden, die die Übertragung der Reibkräfte stören können, da das einzelne Korn der Belastung so weit wie möglich ausweicht.

Weiterhin ist von freiverlegten Rohrleitungen, die auf Gleitlagern verlegt wurden, bekannt, dass bei dynamischen Belastungen bedeutend andere Verschiebungen durch Reibungsabbau auftreten, als bei ruhend beanspruchten Rohrleitungen. In Abhängigkeit der Häufigkeit der dynamischen Belastungen kann sich ein solcher Reibungsabbau an den Lagerstellen innerhalb von wenigen Stunden vollziehen (Pressendampfleitung mit einer Druckwellenfrequenz von rd. 30 Hz), er kann sich aber auch über Monate und Jahre hinziehen (großes verzweigtes Rohrsystem zur Kondensatrückführung mit gelegentlichen Druckwellen, hervorgerufen durch die Schaltvorgänge der Pumpen an den Kondensatsammelbehältern).

Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden deshalb auch die großen Verschiebungen in der Rotbachstraße durch die dynamischen Belastungen, die bei Wind über Stamm und Wurzelwerk in den Untergrund eingeleitet werden, verursacht. Wenn bei diesen Belastun-

gen örtlich der radiale Bettungsdruck p_n am Rohrmantel nicht konstant bleibt, sondern zwischen zwei Grenzwerten p_{max} und p_{min} schwankt und wiederholt $p_{min} < p_n$ auftritt, dann sinkt die übertragene Reibkraft allmählich auf den (p_{min}/p_n) -fachen Wert ab. Im Fall $p_{min} = 0$ (momentane Unterbrechung der Verbindung Boden-Mantelrohr) ergibt sich bei häufiger Wiederholung dieses Zustands ein völliger Wegfall der Reibkraftübertragung an dieser Stelle. Durch diese Minderung der effektiv wirksamen Reibung vergrößert sich der Gleitbereich und damit auch die Verschiebung.

Es ist die Eigenart des Reibungsvorgangs, dass die bereits erreichte Verschiebung bei einer Erhöhung des Bettungsdruckes nicht kleiner wird und die übertragene Reibkraft konstant bleibt. Dadurch hat ein momentaner Bettungsdruck $p_{max} > p_n$ keine Auswirkungen auf die Verschiebungen. Bei einer Abnahme der Normalkraft (Anpresskraft) hingegen wird die übertragbare Reibkraft kleiner und die Verschiebung wächst bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichtszustandes, der durch die Wirkungen an den anderen Reibpunkten des Systems und durch den Spannungszustand der Rohrleitungen bestimmt wird.

Durch das Weiterschieben ist an dem ursächlich betrachteten Reibpunkt zwar eine teilweise oder vollständige neue Aktivierung der normalen Reibkraft möglich, jedoch nur solange, wie der Spannungszustand der Rohrleitung,

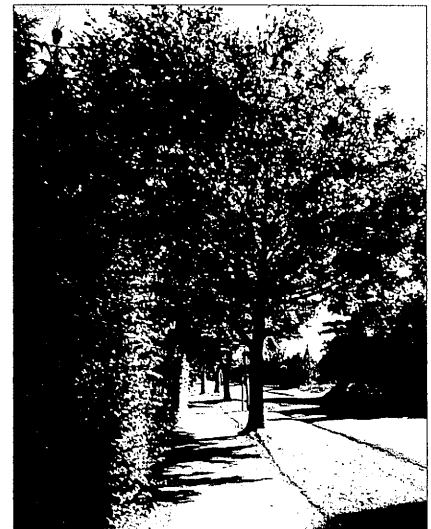


Figure 4. Tree stock in Rotbachstraße

Bild 4. Baumbestand in der Rotbachstraße

der durch das Weiterschieben mehr und mehr nachlässt, noch ein Weiterschieben bewirken kann.

Für die Neuaktivierung der Reibkraft von 0 auf den Maximalwert wird bei Lagerung im verdichteten Kiesbett von Fachleuten ein Verschiebungsweg von 1 bis 5 mm für real angesehen (vgl. Diskussion auf der AGFW-Tagung, November 1998 in Berlin). Im Rahmen dieser Untersuchung wurde mit der Aktivierungsverschiebung $v_y = 5$ mm und mit der maximalen Reibkraft $FR' = 3,6$ kN/m gerechnet (entspricht einer Überdeckung von rd. 0,85 m).

Berücksichtigung des Reibungsausfalls durch Baumbestand in Trassennähe

Zum Zweck einer anschaulichen Auswertung in Diagrammen wurden zwei vereinfachte Berechnungsmodelle in (Bild 5) mit dem neuesten Iterationsverfahren, das für sisKMR [3] entwickelt wurde, untersucht.

Berechnungsmodell 1 entspricht im wesentlichen dem SW-Teil der Strecke in der Rotbachstraße und Berechnungsmodell 2 entspricht im wesentlichen dem NO-Teil. Die Bäume aus Bild 2 sind im Berechnungsmodell 1 bei den Punkten 16, 19 und 20 wiederzufinden.

Für beide Modelle wurde eine Länge von 200 m gewählt, also wesentlich länger als die normal erwartete Gleitbereichslänge und fast so lang wie die halbe Gesamtstrecke. Die Teilung von 20 ergibt somit einen Abstand der Berechnungspunkte (Schnittstellen) von 10 m. Für diese Berechnungspunkte, an denen die in dem Bereich ± 5 m auftreten-

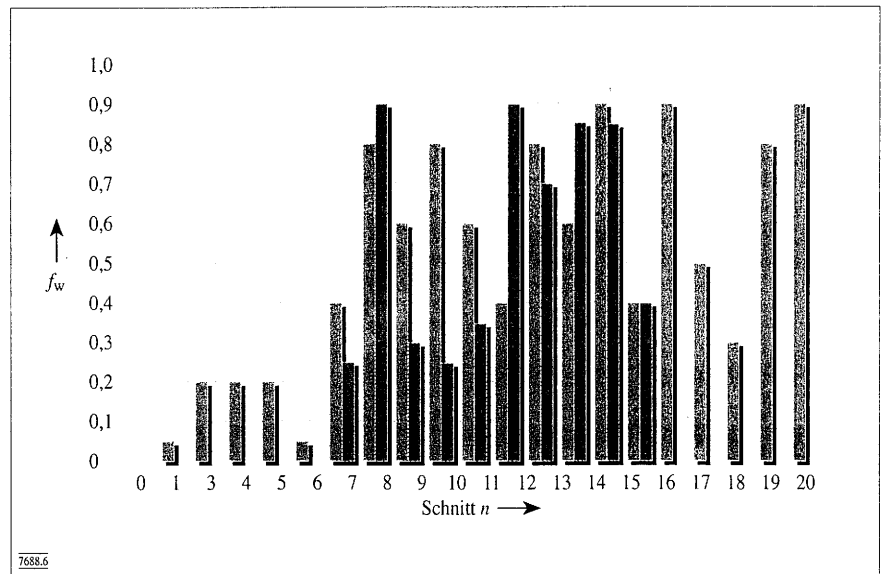


Figure 6. Estimated probability for friction loss due to tree stock: Rotbachstraße northwest (green), Rotbachstraße southeast (blue)

Bild 6. Geschätzte Wahrscheinlichkeiten für Reibungsausfall durch Baumbestand: Rotbachstraße nordwest (grün), Rotbachstraße südost (blau)

de Reibung ermittelt und in das Stabmodell eingeleitet wird, wurden entsprechend des dortigen Baumbestandes die Wahrscheinlichkeiten für den Reibungsausfall geschätzt. Der örtliche Abminderungsfaktor für die Reibung ergibt sich dann aus der Differenz $1,0 -$ Wahrscheinlichkeitswert (Bild 6).

Die Ergebnisse sind Bild 7 für Modell 1 und Bild 8 für Modell 2 zu entnehmen. Dabei zeigt sich bereits nach der ersten Schätzung der Reibkraftminderung bei Modell 1 eine starke Ver-

größerung der Verschiebung durch die Abminderung der Reibung. Am freien Ende (Schnitt 20) ergibt auch die Berechnung den rd. 3-fachen Wert, also eine ausreichende Übereinstimmung mit den Messwerten in Nähe vom Bogen 1. Am Systemanfang (Schnitt 0, gerechnet als NFP) tritt bei der Berechnung $T = 120$ °C mit Abminderung der Reibkräfte bereits eine betragsmäßig deutlich kleinere Axialkraft auf, als die, die für Haftbereich zu erwarten ist (vgl. Berechnungen $T = 120$ °C ohne und mit Abminderung der Reibkraft). Ursache: Die Abminderung der Reibkräfte bei diesem Modell ist in der Summe so groß, dass sich der Gleitbereich auf die gesamte Länge des Modells ausweitet. Ohne Reibkraftminderung sind hingegen nur rd. 60 m Gleitbereich zu erwarten. Selbst bei den Berechnungen mit 90 °C deutet sich dieser Trend bereits schwach an.

Bei dem Modell 2 war ein geringerer Baumbestand zu berücksichtigen, der außerdem an der Grenze Haft-/Gleitbereich für $T = 90$ °C endet. Dadurch weicht in Bild 8 der Axialkraftverlauf gemäß Kurve C von dem gemäß Kurve A nur geringfügig ab. Erst bei 120 °C reicht der Gleitbereich stärker in den Bereich des Baumbestands, sodass dann die Abminderungsfaktoren wirksam werden und der Axialkraftverlauf deutlich voneinander abweicht (vgl. Kurve 4 mit Kurve 2). Eine spätere Ab-

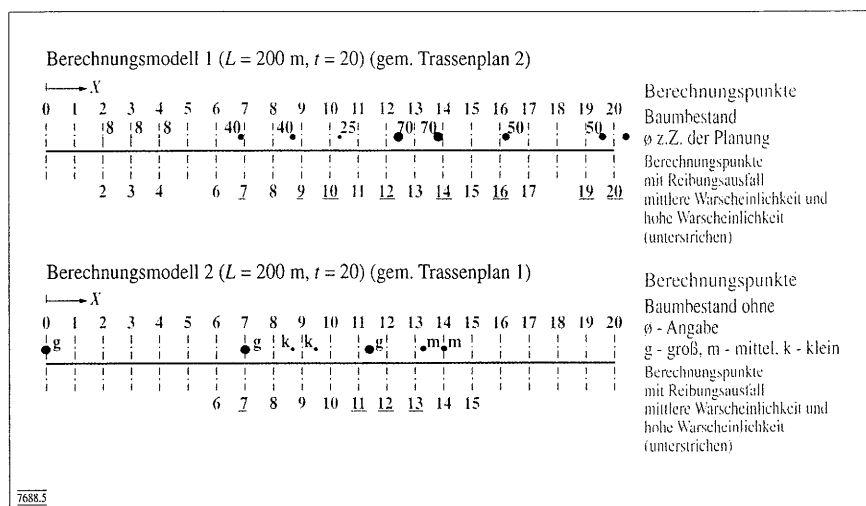
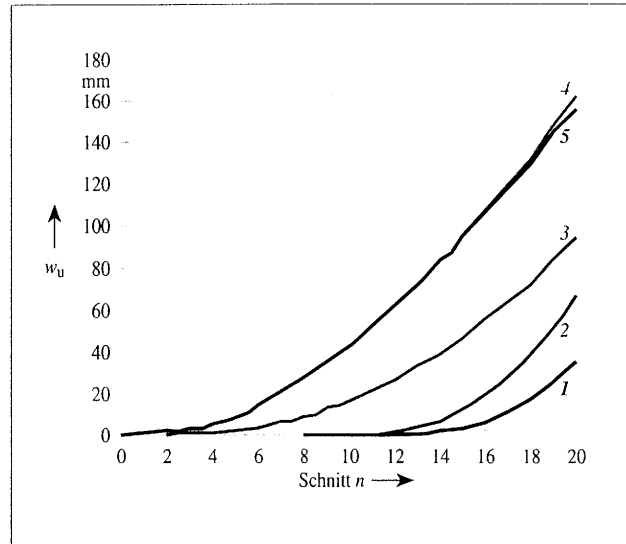
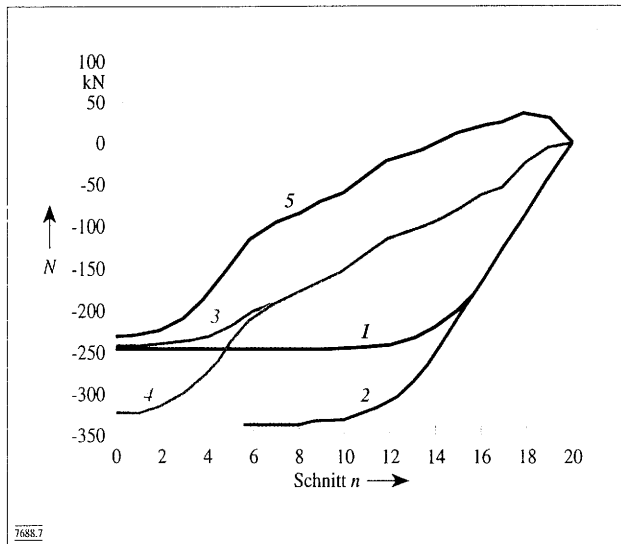


Figure 5. Clear evaluation by diagrams via two simple calculation models

Bild 5. Anschauliche Auswertung in Diagrammen durch zwei vereinfachte Berechnungsmodelle



n	f _w	f _{abm}
0	0,00	1,00
1	0,05	0,95
2	0,20	0,80
3	0,20	0,80
4	0,20	0,80
5	0,05	0,95
6	0,40	0,60
7	0,80	0,20
8	0,60	0,40
9	0,80	0,20
10	0,60	0,40
11	0,40	0,60
12	0,80	0,20
13	0,60	0,40
14	0,90	0,10
15	0,40	0,60
16	0,90	0,10
17	0,50	0,50
18	0,30	0,70
19	0,80	0,20
20	0,90	0,10

Figure 7. Track of axial force N and track of axial displacement w without and with friction reducer in relation to local disturbance probability

System model 1 acc to routing plan 2, SW Rosbachstrasse, PJP DN 100, length: 200 m, separation: 20, cross section 0 = FP, cross-section 20 = FE
n calculation point (cross-section)
f_w estimated disturbance probability in acc. to local tree stock (size and distance from calculation point)
f_{abm} local reduction factor

curve 1 $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ without friction reduction
 curve 2 $T=120\text{ }^{\circ}\text{C}$ without friction reduction
 curve 3 $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ with friction reduction acc. to local disturbance probability
 curve 4 $T=120\text{ }^{\circ}\text{C}$ with friction reduction acc. to local disturbance probability
 curve 5 $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$ without friction reduction cooled off from condition acc. curve 4

Bild 7. Axialkraftverlauf N und Axialverschiebungsverlauf w ohne und mit Reibungsminderung entsprechend örtlicher Ausfallwahrscheinlichkeit

System Modell 1 entspr. Trassenplan 2, SW Rotbachstraße, KMR DN 100, Länge: 200 m, Teilung: 20, Schnitt 0 = FP, Schnitt 20 = FE
n Berechnungspunkt (Schnitt)
f_w Geschätzte Ausfallwahrscheinlichkeit entsprechend örtlichem Baumbestand (Größe und Entfernung vom Berechnungspunkt)
f_{abm} örtlicher Abminderungsfaktor

Kurve 1 $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ohne Reibungsminderung
 Kurve 2 $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ohne Reibungsminderung
 Kurve 3 $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit Reibungsminderung entsprechend örtlicher Ausfallwahrscheinlichkeit
 Kurve 4 $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit Reibungsminderung entsprechend örtlicher Ausfallwahrscheinlichkeit
 Kurve 5 $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ohne Reibungsminderung abgekühlt aus dem Zustand entsprechend Kurve 4

kühlung von 120 auf 90 °C hat im wesentlichen nur die Änderung des Axialkraftverlaufs zur Folge (vgl. Kurve E mit Kurve D), die Verschiebung geht aber nur geringfügig zurück. Anlage 2 zeigt aber auch, dass bei diesem Modell noch ein Haftbereich bestehen bleibt. Damit ergibt sich bei Modell 2 am NFP eine größere Druckkraft als bei Modell 1. Das hat zur Folge, dass sich an der Verbindungsstelle der beiden Teilabschnitte, die erst nach Inbetriebnahme des 1. Teilabschnittes zustande kam, kein echter NFP einstellt. Dies erklärt auch das beobachtete Verschiebungsverhalten in diesem Streckenbereich (Bild 1).

Bei beiden Berechnungsmodellen wurde auf eine Änderung der Schätzwerte für die Ausfallwahrscheinlichkeit (grafisch dargestellt in Bild 7) verzichtet. Man könnte damit noch eine bessere Übereinstimmung mit den Messwerten erzielen, die so erreichbaren Ergebnisänderungen wären aber auch durch Berücksichtigung bisher vernachlässigter Einflüsse erreichbar.

5 Schlussbemerkungen

Die in Abschnitt 4 enthaltenen Darlegungen zur Eigenart des Reibungsprozesses basieren auf einer umfangreicheren und bisher nicht veröffentlichten Ausarbeitung, die zur Zeit nur in Konzeptform vorliegt.

Das nochmalige intensive Studium der Berichte und Planungsunterlagen und die vergleichende Analyse der Strecken Hauerstraße und Rotbachstraße führten zu der Erkenntnis, dass der Baumbestand in der Rotbachstraße mit hoher Wahrscheinlichkeit die großen Verschiebungen dieser KMR-Strecke verursacht hat. Thesen von der »Relaxation« oder »Plastifizierung« des Erdreiches, denen die Autoren nie gefolgt sind, wurden mit den Untersuchungen widerlegt.

Aus der guten Übereinstimmung von Berechnungs- und Messwerten in der Hauerstraße und vielen anderen Trassen kann im Umkehrschluss aber auch gefolgert werden, dass die Anfang der

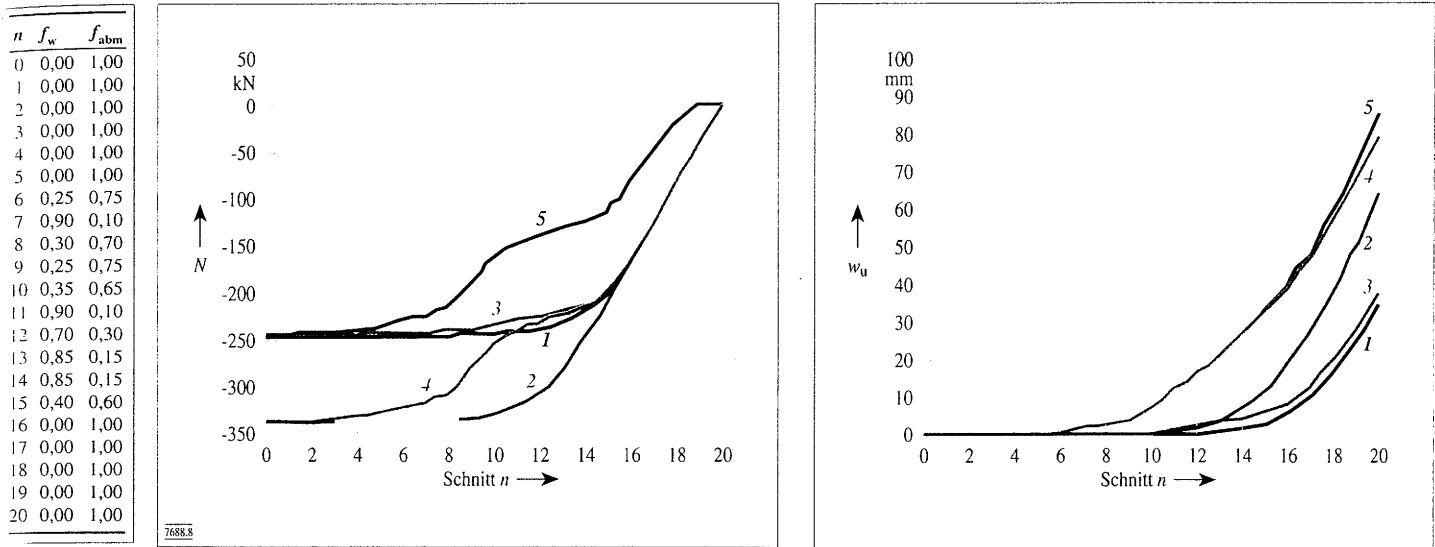


Figure 8. Track of axial force N and track of axial displacement w without and with friction reducer in relation to local disturbance probability

System model 2 acc to routing plan 2, SW Rosbachstrasse, PJP DN 100, length: 200 m, separation: 20, cross section 0 = FP, cross-section 20 = FE
 n calculation point (cross-section)
 f_w estimated disturbance probability in acc. to local tree stock (size and distance from calculation point)
 f_{abm} local reduction factor

curve 1 $T=90\text{ }^\circ\text{C}$ without friction reduction
 curve 2 $T=120\text{ }^\circ\text{C}$ without friction reduction
 curve 3 $T=90\text{ }^\circ\text{C}$ with friction reduction acc. to local disturbance probability
 curve 4 $T=120\text{ }^\circ\text{C}$ with friction reduction acc. to local disturbance probability
 curve 5 $T=90\text{ }^\circ\text{C}$ without friction reduction cooled off from condition acc. curve 4

Bild 8. Axialkraftverlauf N und Axialverschiebungsverlauf w ohne und mit Reibungsminderung entsprechend örtlicher Ausfallwahrscheinlichkeit

System Modell 2 entpr. Trassenplan 2, SW Rotbachstraße, KMR DN 100, Länge: 200 m, Teilung: 20, Schnitt 0 = FP, Schnitt 20 = FE
 n Berechnungspunkt (Schnitt)
 f_w Geschätzte Ausfallwahrscheinlichkeit entsprechend örtlichem Baumbestand (Größe und Entfernung vom Berechnungspunkt)
 f_{abm} örtlicher Abminderungsfaktor

Kurve 1 $T = 90\text{ }^\circ\text{C}$ ohne Reibungsminderung
 Kurve 2 $T = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ohne Reibungsminderung
 Kurve 3 $T = 90\text{ }^\circ\text{C}$ mit Reibungsminderung entsprechend örtlicher Ausfallwahrscheinlichkeit
 Kurve 4 $T = 120\text{ }^\circ\text{C}$ mit Reibungsminderung entsprechend örtlicher Ausfallwahrscheinlichkeit
 Kurve 5 $T = 90\text{ }^\circ\text{C}$ ohne Reibungsminderung abgekühlt aus dem Zustand entsprechend Kurve 4

neunziger Jahre verfügbaren Reibkraftansätze bei Abwesenheit von Bäumen gut mit der Wirklichkeit übereinstimmen.

Schlussfolgernd daraus ist bei künftigen Planungen von KMR-Trassen im Einflussbereich von Bäumen mit einer entsprechend verminderten Reibung zu rechnen, wie es in den Regelwerken bereits für Grundwasser vorgesehen ist. Auf die Aufnahme entsprechender Hinweise in die Berechnungsgrundlagen sollte hingewirkt werden.

Hierbei kann jedoch nicht unbeachtet bleiben, daß sich Veränderungen der Baumbestände innerhalb der Lebensdauer der KMR-Leitungen (mindestens 30 Jahre) ergeben werden. In wie weit

solche Veränderungen vorhersehbar und beeinflussbar durch das EVU sind, sollte ebenfalls diskutiert werden.

6 Schrifttum

[1] Küppers, Becker, Schleyer, Kastan: Betriebliche Selbstvorspannung von Kunststoffmantelrohrsystem und Vakuum-Stahlmantelrohrsystem. BMFT-Forschungsbericht (1991).
 [2] Hagemeyer, Buchner, Rünz, Schleyer: Betriebliche Selbstvorspannung von Fernwärmeleitungen in der Unterverteilung Band 1 bis 2. BMBF-Forschungsbericht (1995).

[3] sisKMR 2000: Programmsystem zur statischen Berechnung von erdverlegten und freiverlegten Rohrsystemen, GEF Leimen (1986 bis 2000)

(7688)